

大口径干涉仪装置的调整及支承机构*

汤更秀 刘志刚 王聪瑜 庞向阳 朱健强

(中科院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 采用蜗轮蜗杆驱动调整机构、使用同步带安装标准镜片方式、正交十字导轨支撑等可有效提高光学精密检测系统中大口径干涉仪装置的镜面面形质量、稳定性和调节准确度, 从理论上介绍了蜗轮蜗杆驱动机构等设计原理及其基本公式, 并从实验上验证了这些机构对光学精密检测系统稳定性的影响。

关键词 大口径干涉仪; 蜗轮蜗杆驱动; 同步带安装标准镜片; 正交十字导轨; 调整准确度

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

对大型光学元件进行光学精密检测是提高大口径光学元件制造准确度, 提高光学仪器整体性能必不可少的关键步骤, 而大口径干涉仪标准镜片则是进行光学精密检测的基准, 其镜面面形质量以及检测时干涉仪标准镜片的调整准确度直接影响最终测量结果。过去由于大口径干涉仪^[1]标准镜片制造困难, 通常最大口径只能做到 $\Phi 150$ mm, 因此重力等因素对干涉仪标准镜片面形影响较小, 且对调整机构的设计也不需考虑载荷的影响, 即干涉仪标准镜片的安装可以采用三点支承等传统镜片安装方式, 以及调整机构采用丝杆直接驱动。但随着干涉仪标准镜片口径的增大, 重力等因素对镜面面形质量影响和对调整驱动机构准确度等影响在设计干涉仪镜架装置时必须重点考虑。上述传统的干涉仪标准镜片在安装方式和调整驱动方式上都已不适用于大口径标准镜片的安装与调整。要解决的技术问题在于采用合理的支承方式及卸荷装置来减缓大口径干涉仪标准镜片的重力因素等对镜面面形质量和调整驱动机构准确度的影响, 同时改进调整机构的结构, 使其能够承受较大的自重载荷, 同时又保证具有较高的调整准确度。

1 设计思想

由于大口径干涉仪标准镜片的重量达到 60 kg 左右, 在角度调整过程中, 如果将支承和驱动都置于驱动丝杆上, 由于镜片的自重导致丝杆容易变形, 直接影响调整准确度。在大口径光学元件的机械设计中, 一般尽可能将支承机构和驱动机构分开。将载荷卸载到镜架底面一副正交十字导轨上, 丝杆机构

驱动镜架部分做两维角度调整(俯仰、方位)过程中, 方位角度调整时正交十字导轨随镜架沿水平曲线运动, 俯仰角度调整时镜架底面一对球轴承的使用使得镜架能无干涉地调整, 如图 1。干涉仪两维角度调整的丝杆运动副对镜架提供三个约束, 保留三个自由度^[2](俯仰、方位, 面内平移), 正交十字导轨对镜架支撑又提供了三个约束, 对空间六自由度约束即形成完全约束, 与镜架两维角度调整至少需两自由度相干涉, 但镜架底面支撑采用正交十字导轨和一对球轴承, 提供两自由度, 有效地避免底面支撑对镜架运动的干涉, 满足两维角度调整所需的自由度约束条件, 使干涉仪能实现两维角度调整。实验证明, 正交十字导轨与球轴承的配合是一种很好的卸载支承方式。在丝杆驱动过程中, 丝杆承受轴向载荷, 只承受少量的径向载荷, 丝杆不会因为承受大量的径向载荷而变形, 从而影响角度调整准确度。这种卸荷装置主要是根据对自由度的计算分布, 成功地将支承和驱动分开。

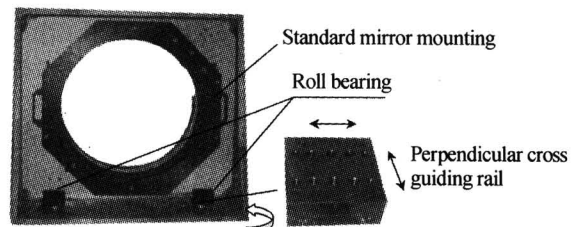


图 1 卸荷机构在大口径干涉仪装置上应用
Fig. 1 Offloading setup applied in the large aperture interferometer

在安装镜片方式上, 主要考虑方便安装、快速拆卸、镜面变形小等来选用较好的安装镜片方式, 基本上是使镜片处于悬浮不运动状态^[3]。通过 ANSYS 分析实验证明, 对于大口径镜片选择从侧面支承是较好的方式, 从侧面支承比从镜面方向支承对镜面变形影响小很多。在以前支承方式设计中, 采用在圆周方向上给镜片和支承件之间灌硅胶, 支承效果

* 国家 863-416 高技术计划资助项目
Tel: 021-69918280 Email: tanggx2002@citiz.net
收稿日期: 2005-01-07

很好,但安装和拆卸都不太方便. 所以在大口径干涉仪装置中采用一种安装、拆卸都较方便且镜面变形小,支承效果很好的方式. 具体操作是首先通过同步带轮与同步带的相对啮合运动,用同步带轮旋转带动同步带收紧,即可用同步带将标准镜片吊起,同步带对标准镜片的侧面支承为多点分布,从而将镜面变形应力分布到整个圆周方向上,使标准镜片镜面变形在 $\lambda/10-\lambda/6$ 范围内. 其次通过三点对称分布的三根杆来从外围支承镜片,并且用铰链装置来固定镜片,使它稳定地处于某个位置,保证良好的支承效果,结构如图 2.

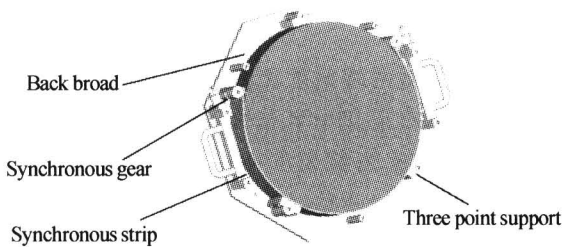


图 2 同步带(轮)安装镜片方式
Fig. 2 The method of synchronous strip/gear installing standard mirror

1.1 从稳定性考虑

光学实验装置中通常不采用低频元件,尽可能通过刚性连接来设计整个装置,达到提高装置稳定性目的. 该装置驱动机构与镜框的连接采用正交铰链,能有效地在运动过程实现两维角度调整. 传动螺杆采用 T 形螺纹结构, T 形螺纹不仅传动力矩大,能承受较大的载荷,而且比三角螺纹具有更好的特点:它在螺纹大径上形成圆面接触,使传动过程中实现无间隙,无空回运动. 此外采用双螺母结构与螺杆之间错位安装能有效地消除螺杆螺母结构之间的间隙. 该装置上所用的蜗轮蜗杆减速驱动装置^[5],实验证明蜗轮蜗杆传动空回基本为 0,如图 3.

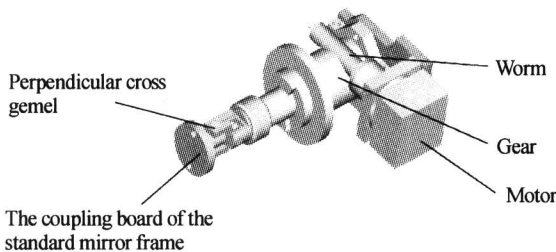


图 3 蜗轮蜗杆传动机构
Fig. 3 Worm/gear transferring setup

1.2 从调节准确度考虑

通过蜗轮蜗杆的减速细分装置,理论计算和实验均证明该驱动组件完全符合调整准确度要求. 准确度计算为:

蜗杆:齿数:1;螺距: t ;分度圆直径: D_1 ;模数: $m=t/\pi$;蜗轮分度圆直径: D_2 ;蜗轮、蜗杆中心距 D :

$D=(D_1+D_2)/2$;蜗轮齿数 $Z=D_2/m$;步进电机步距 θ_0 : $\theta_0=\alpha^\circ/\text{step}$;蜗轮蜗杆机构的传动比 $n:1=Z:1$;丝杆规格:螺距 P ;调整力臂长度: L ;二维角度调整准确度 θ_1 、 θ_2 计算为

$$\theta=3600\times\arctan\frac{\frac{\theta_0}{n}\times P}{360\times L}$$

2 实际应用结果

2.1 准确度测量

如图 4,贴有试验反射镜的大口径干涉仪装置安装在减振平台上,使平行光管距试验反射镜距离 1.5m 左右,调节平行光管使试验反射镜中心,反射像与平行光管中的十字叉丝重合,操作驱动机构电源,以每 50 步为一个驱动单元(即以 POWERMAX 混合式伺服电机的整步距角 1.8° 为 1 步,复位准确度为 1×10^{-6} 弧秒),在平行光管中观察十字叉丝在垂直或水平方向上走动,十字叉丝在走动过程中严格沿水平轴或垂直轴按 $5\mu\text{m}/50$ 步移动,最后进行误差处理.

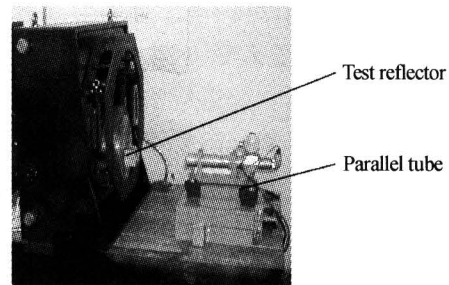


图 4 准确度测量试验
Fig. 4 Accuracy measuring test

物理实验过程中,采用光电探测系统来采集实验数据,减少误差. 由于环境会带来一定的测量误差,且是一个不定性概念,物理实验在恒温实验室内减振平台上进行,尽量减少环境带来的测量误差.

2.2 稳定性测试

自振振幅、自振频率和冲击后阻尼时间的测量装置如图 5. 在干涉仪上试验反射镜边缘加一冲击力 F ,试验反射镜开始振动并逐渐衰减为零,其信号通过测振仪接收显示在示波器上. 在双踪示波器的另一路输入标准正弦信号,将它们比较即可得到冲击后的阻尼时间,撤去力 F 后,观测试验反射镜的自振曲线,将示波器格位定标,试验反射镜的自振角振幅可按式(1)计算

$$\theta=\frac{\eta\times 2\times 10^5\times E}{r\times 1000} \quad (1)$$

式中: E 为示波器标尺读数; r 为测点距转轴距离; η 为标尺定标倍率(0.02)

2.3 测试结果

实验结果(见表1)表明干涉仪的蜗轮蜗杆驱动机构,正交导轨支承机构及同步带(轮)安装镜片方式的应用有着较好作用,使干涉仪装置的调整准确度、稳定性得以提高,满足结构自振频率10~20 Hz的频率范围,角度调节准确度 $<0.2''$ 的准确度要求,符合实验室装置的需要。

表1 测试结果

调整走灵敏度(每准确度(每行程自振频自振阻尼间方向向50步)/(")50步)/(")/(")率/Hz幅/(") /sec								
干涉仪	水平	正	0.27	0.025	71	15	<0.05	<2.5
	轴	反	0.29	0.03				
	垂直	正	0.29	0.02	83	14	<0.04	<2.5
	轴	反	0.28	0.03				

3 结论

本文给出了大口径干涉仪的支承方法、驱动机构及安装镜片介绍,理论和实验都证明这些方法具有准确度高,微动量极小,无间隙,无空回等优点,基本上消除了驱动过程中产生的不稳定因素,达到无间隙调整.这种设计思想为其它大口径光学元件的

支承和调整提供了一种有益的思路。

参考文献

- 1 许乔,顾元元.大口径干涉仪系统传递函数校准.强激光与粒子束,2001,13(3):321~324
Xu Q,Gu Y Y. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001,13(3):321~324
- 2 孙桓,陈作模.机械原理.北京:高等教育出版社,1996.11~30
Sun H,Chen Z M. *Mechanical Theory*. Beijing: High Education Press,1996.11~30
- 3 丁福建,李英才.大口径相机主镜/次镜结构动力减振的研究.光子学报,1998,28(5):458~462
Ding F J,Li Y C. *Acta Photonica Sinica*,1998,28(5):458~462
- 4 丁福建,李英才.反射镜浮动支撑的应力与变形分析及支撑参数的优化.光子学报,1998,27(11):1041~1045
Ding F, J,Li Y C. *Acta Photonica Sinica*,1998,27(11):1041~1045
- 5 徐灏.机械设计手册.北京:机械工业出版社,1992.208~210
Xu H. *Mecanical Design Handbook*. Beijing: Mechanical Industry Press,1992.208~210

The Adjustment and Shore for the Large Aperture Interferometer

Tang Gengxiu, Liu Zhigang, Wang Congyu, Pang Xiangyang, Zhu Jianqiang
Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

Received date:2005-01-07

Abstract In this article, the adoption of gear/worm transferring, synchronous strip/gear installing method and perpendicular cross guiding rail which applied in the large aperture interferometer are described. By use of the method could be improved the system's stability and adjusting accuracy as well as the quality of the standard mirror face shape. The design principle and basic formulas of driving devices are introduced theoretically, and by experiments the devices' influence upon the stability of system is proved.

Keywords Large aperture interferometer; Gear/worm transferring; Synchronous strip/gear installing; Perpendicular cross guiding rail; Adjusting accuracy



Tang Gengxiu was born in March,1975,Anhui Province. She received her Bachelor degree in mechanical design from Anhui University of Techology. Now she is working and studying in Shanghai institute of Optics and Fine Mechanics. Her researches are on the structure of High Power Lasers and Physics and fine mechanics design.